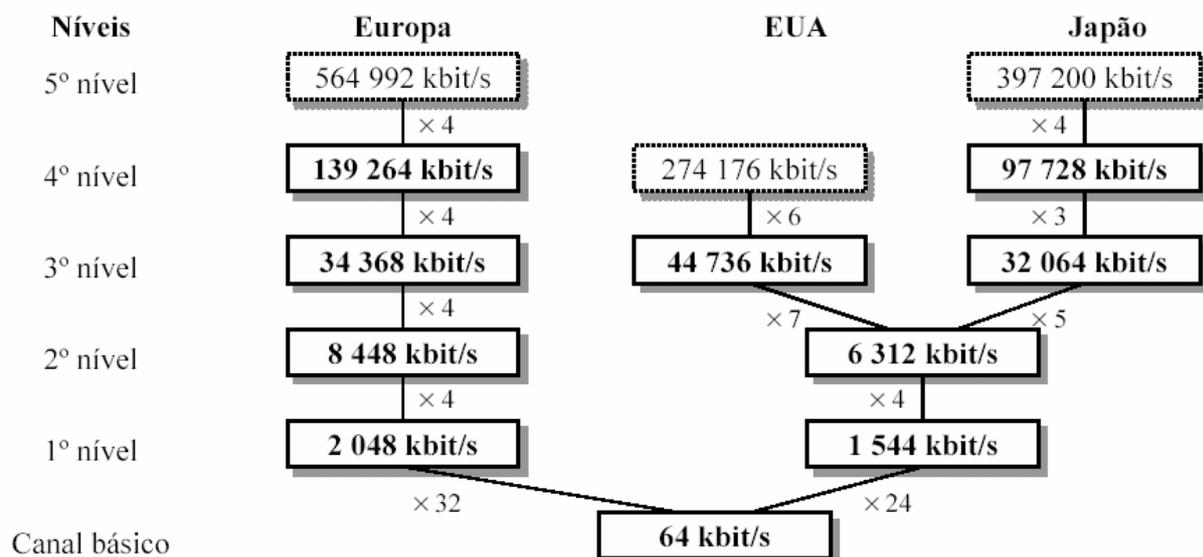
# REDES DE TELECOMUNICAÇÕES

## *SDH (Synchronous Digital Hierarchy)*

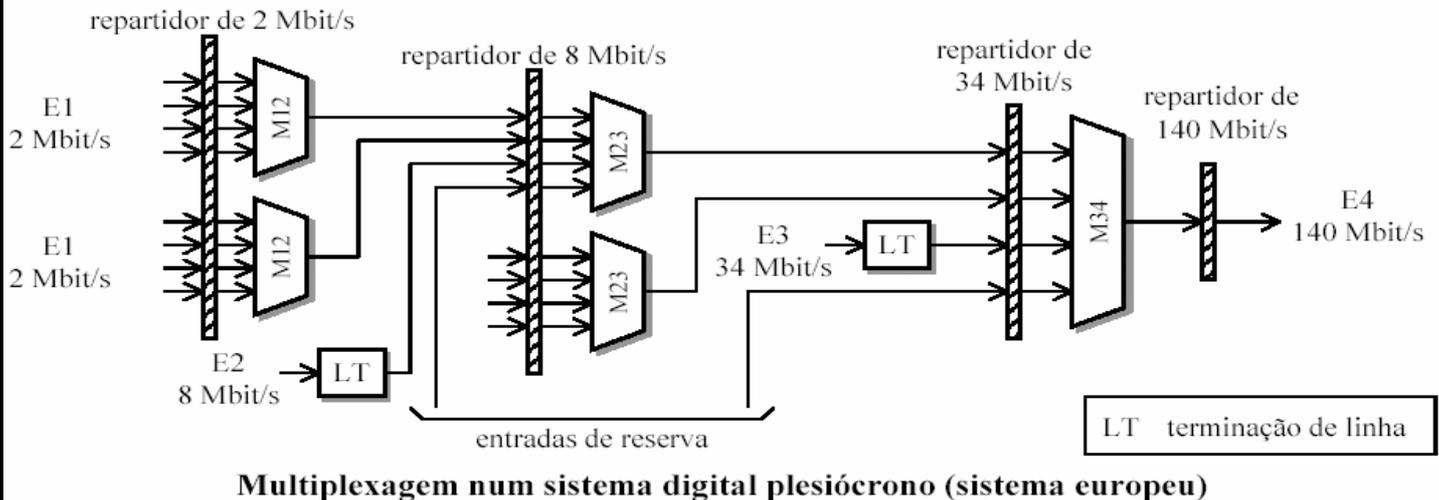
### *Engª de Sistemas e Informática*

UALG/FCT/ADEEC 2006/2007





## Hierarquia Digital Plesiócrona (PHD)

**Princípios básicos**
Sistema hierárquico
-cada sinal de um nível é obtido a partir de *n* tributários do nível anterior mais baixo
-os tributários são assíncronos, mas com o mesmo débito nominal (plesiócronos)
-a multiplexagem é assíncrona com justifcação positiva/nula.

**Multiplexagem num sistema digital plesiócrono (sistema europeu)**





**Vantagens e limitações da hierarquia PHD**

***Vantagens***
-número de sistemas normalizados reduzidos a um pequeno conjunto
-níveis adaptados aos sistemas de transmissão de alto débito então existentes
(pares simétricos, cabos coaxiais, feixes hertzianos)
-crescimento através da adicção de novos equipamentos manendo os anteriores

***Limitações***
-taxas de transmissão limitadas a cerca de 500 Mbit/s
-capacidade rudimentar de operação e manutenção
-reconfiguração simples mas manual (alteração física de ligações nos repartidores)
-acesso a um tributário obriga à desmultiplexagem de todos os níveis superiores.

## *Estrutura da trama da 2ª hierarquia (E2)*

| $F_1$ | $F_1$ | $F_1$ | $F_1$ | $F_0$ | $F_1$ | $F_0$ | $F_0$ | $F_0$ | $F_0$ | X | Y | $I_{13}$ | ....... | $I_{212}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{11}$ | $C_{21}$ | $C_{31}$ | $C_{41}$ | $I_5$ | | ............................ | | | | | | | | $I_{212}$ |
| $C_{12}$ | $C_{22}$ | $C_{32}$ | $C_{42}$ | $I_5$ | | ............................ | | | | | | | | $I_{212}$ |
| $C_{13}$ | $C_{23}$ | $C_{33}$ | $C_{43}$ | $J_1$ | $J_2$ | $J_3$ | $J_4$ | $I_9$ | .................... | | | | | $I_{212}$ |

- **Constituída por 848 bits**
- **4 sectores (sub-tramas) $S_1$, $S_2$, $S_3$ e $S_4$ (cada um com 212 bits)**
- **Repartição dos bits no sector $S_1$**
  - **Os 10 primeiros bits constituem o padrão de enquadramento (PET) (1111010000)**
  - **Os 2 bits seguintes (X e Y) são bits de reserva**
  - **Os 200 bits seguintes são usados para transmissão da informação (50 grupos, de 4 bits cada, 1 bit por tributário)**
- **Repartição dos bits nos sectores $S_2$, $S_3$ e $S_4$**
  - **Cada sector contém 212 bits fraccionados em 53 grupos de 4 bits cada.**
  - **O 1º grupo de cada sector corresponde aos bits de indicação de justificação, sendo cada bit do grupo alocado a um tributário.**
  - **Os bits de justificação são colocados (quando necessário) no 1º grupo de informação do sector $S_4$**





## Sincronização dos elementos da rede

**Os geradores de sinais de temporização reais são concebidos para operarem a uma determinada frequência nomina (*$f_0$*). Na prática, contudo, devido a limitações físicas o gerador opera a uma frequência real(*$f_r$*), que se pode afastar mais ou menos da frequência nominal. O parâmetro que contabiliza o desvio da frequência real de uma relógio relativamente à sua frequência nominal designa-se por** <u>*precisão do gerador*</u> **e é definido por:**

$$\text{Precisão} = \frac{|f_r - f_0|}{f_0}$$

- **Precisão expressa usualmente em p.p.m (partes por milhão).**
- **Tendo em conta a precisão,define-se usualmente uma hierarquia com quatro níveis (*stratum*), com os relógios com precisão mais elevada (relógios atómicos) pertencendo ao *stratum* 1.**

| Nível | *Stratum*1 | *Stratum*2 | *Stratum*3 | *Stratum*4 |
|---|---|---|---|---|
| Precisão | $1\times10^{-11}$ | $1.6\times10^{-8}$ | $4.6\times10^{-6}$ | $3.2\times10^{-5}$ |

Um valor típico para a tolerância dos relógios dos tributários da primeira hierarquia CEPT1 é de 50 ppm (partes por milhão). Pretende-se demonstrar que a presença de 1 bit de justificação por tributário na trama CEPT2 é suficiente para compensar as flutuações dos débitos à tolerância referida.

*Cada trama CEPT2 contém 266 bits de informação de cada um dos canais (tributários), os quais se reduzem a 265 quando se usa justificação. Assim o débito binário máximo por cada canal é igual a*

*(266x8.448Mbit/s)/448=2.0522 Mbit/s*

*enquanto que o débito mínimo vem dado por:*

*(265x8.448Mbit/s)/448=2.0423 Mbit/s*

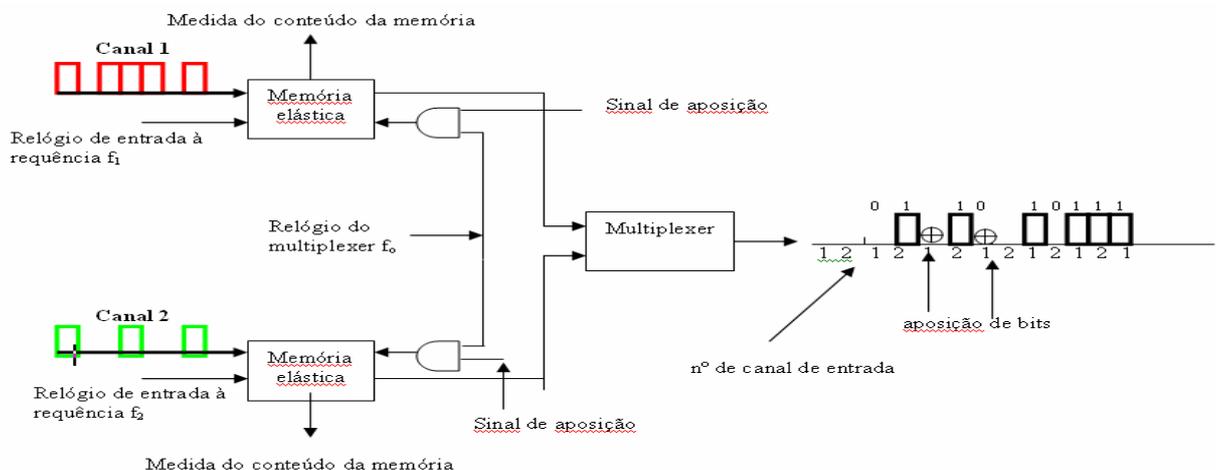
*Esses débitos correspondem a uma fluctuação relativamente ao débito binário nominal (2.048 Mbit/s) de 4.2 Kbit/s e -5.7 Kbit/s. Ou seja um bit de justificação tem capacidade para acomodar flutuações dentro desses limites.*

*Por sua vez um relógio com estabilidade de 50 ppm, irá originar flutuações no débito binário de*

*$50/10^6$x2.048 Mbit/s =102.4 bit/s*
*os quais estão perfeitamente integrados nos limites permitidos por 1 bit de justificação.*





Acomodação das flutuações dos tributários

## *Aquisição e perda de enquadramento de trama*

***Situação de sincronismo-*** nesta situação o receptor está em síncronismo;
***Perda de síncronismo***- a perda de síncronismo é declarada quando *k* tramas sucessivas o *PET* não é detectado;
***Aquisição de síncronismo***- quando são feitas *M* detecções correctas do *PET*.
***Fora de sincronismo –*** foi detectda perda de sincronismo ou o receptor está a tentar recuperar o síncronismo.

*A eficiência de um determinado esquema de sincronização de trama pode ser caracterizado pelos seguintes parâmetros:*

- ***Tempo médio de aquisição de síncronismo*** **de trama, quando o receptor está fora de síncronismo.**
- ***Tempo necessário para declarar perda de trama*** **quando o receptor está em sincronismo e começa a receber PET errados.**
- ***Tempo médio entre perdas de sincronismo*.**

## Tempo médio entre perdas de síncronismo

- **Trama com *L* bits dos quais *N* correspondem ao PET;**
- **a probabilidade de detectar um bit erradamente é *p*;**
- **basta um bit errado na sequência dos *N* bits da PET para que o PET seja errado**

*A probabilidade de erro no PET Pp é:*

***Pp=1-Pr* ( *Pr-Padrão recebido sem erros*)**
**$=1-(1-p)^N$**

**Supondo que a perda de trama só é detectada depois de *k* tramas sucessivas com erro na sequência de trama, a probabilidade de uma declaração de perda de enquadramento, $P_E$, é:**

$$P_E = \left(P_p\right)^k = \left(1-\left(1-p\right)^N\right)^k \approx \left(Np\right)^k$$

**Se são transmitidas *F* tramas por segundo, então o tempo médio entre perdas de enquadramento é dado por:**

$$T_E = \frac{k}{FP_E} = \frac{k}{F\left(Np\right)^k}$$



*Hierarquia Digital Plesiócrona (PHD)*

## Tempo necessário para declarar a perda de enquadramento

- **o sincronismo é perdido, devido à existência de *k* PET errados**
- **se uma sequência de *N* bits de dados imitar o PET o sistema não detecta perda de sincronismo**
- **como os dados são aleatórios a probabilidade desta situação ocorrer é de** $2^{-N}$
- **Então a probabilidade de detectar uma perda de trama efectiva numa trama é $1-2^{-N}$.**

**Como se exigem *k* tramas sucessivas com erro na sequência de trama, a probabilidade de detecção de perdas reais de trama, $P_d$, é:** ⇨

$$P_d = \left(1-2^{-N}\right)^k = 1 - k2^{-N} + \ldots$$

**O tempo necessário para declarar a perda de síncronismo de trama, $T_d$, se $k2^{-N} << 1$, é aproximadamente o tempo necessário para transmitir *k* tramas.** ⇨

$$T_d = \frac{k}{F\left(1-2^{-N}\right)^k} \approx \frac{k}{F}$$

Tempo médio de aquisição de sincronismo

- **síncronismo é dado como adquirido quando se encontra o PET em *M* tramas consecutivas.**
- **O pior caso corresponde à situação em que se inicia a pesquisa do PET no bit consecutivo ao verdadeiro PET.**
- **Para agravar a situação poderá haver falsas detecções da sequência de trama devido à probabilidade $2^{-N}$ de *N* bits de dados imitarem a sequência correcta do PET**
- **Quando isto ocorre, a procura é suspensa até à trama seguinte. Então se houver *h* paragens de procura, o tempo de aquisição médio, $T_a$, será:**

$$T_a = \frac{M + h}{F}$$





Tempo médio de aquisição de sincronismo

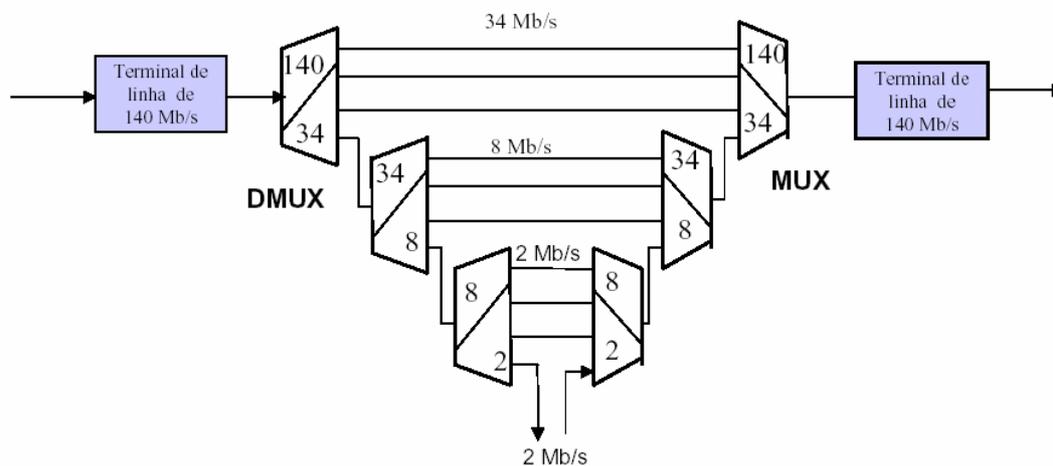
**Para determinar *h* note-se que o pior caso é quando se examinam *L+h* sequências de *N* bits, das quais *h* foram detectadas falsamente como sequências de trama. Então *h/(L+h)* é a probabilidade de detecção falsa que como se viu anteriormente é dada por $2^{-N}$.**

$$2^{-N} = \frac{h}{L+h} \rightarrow h = \frac{L}{2^N - 1}$$

**O tempo médio total, $T_t$, (pior caso) para a detecção de perda e aquisição de enquadramento será dado por**

$$T_t = T_d + T_a = \frac{k + M + \frac{L}{2^N - 1}}{F}$$

## *Desvantagens do PDH*

- Necessidade de concatenação de equipamento formando uma pilha de multiplexers para extrair canais de níveis hierárquicos inferiores.

## *Desvantagens do PDH*

- Interfaces normalizadas unicamente para transmissão de sinais eléctricos ;
- Incompatibilidade de equipamento de diferentes fabricantes;
- Funções de suporte operacional (monotorização, controlo e gestão da rede quase inexistentes).

•Na década de 1980, novos avanços tecnológicos (fibras ópticas e integração em larga escala de circuitos integrados) possibilitaram a transmissão e comutação de sinais digitais a taxas superiores às permitidas pela hierarquia PHD o que originou a necessidade de novas hierarquias de multiplexagem digital.

•Embora fosse teoricamente possível ultrapassar estas limitações através do projecto de uma nova geração PHD, a solução adoptada foi a concepção de um sistema com uma filosofia diferente, ou seja a Hierarquia Digital Síncrona ou SDH (´Synchronous Digital Hierarchy').

•Trata-se de uma rede em que todos os elementos operam de modo síncrono sobre o controlo de um relógio central da rede.

•Nos EUA a normalização da rede síncrona foi anterior e tem a designação de SONET (Synchronous Optical NETwork), nesta rede as interfaces são normalizadas para sinais ópticos





- SONET desenvolvido na ECSA - EUA (Exchange Carriers Standards Association).

- SDH foi standarizado pelo ITU-T (International Telecommunications Uninion) in 1988.
- Em 1989 , o CCITT (International Consultative Committee on Telephony & Telegraphy) publicou o "Blue book" com as recomendações G.707 , G.708 & G.709.
- G.702 - Digital Hierarchy Bit Rates
- G.703 - Physical/Electrical Characteristics of Hierarchical Digital Interfaces
- G.707 - SDH Bit Rates
- G.708 - Network Node Interface for the SDH
- G.709 - Synchronous Multiplexing Structure
- G.773 - Protocol Suites for Q Interfaces for Management Transmission Systems
- G.781 - (Formerly G.smux-1) Structure of Recommendations on Multiplexing Equipment for the SDH
- G.782 - (Formerly G.smux-2) Types and General Characteristics of SDH Multiplexing Equipment
- G.783 - (Formerly G.smux-3) Characteristics of SDH Multiplexin

## *Vantagens*

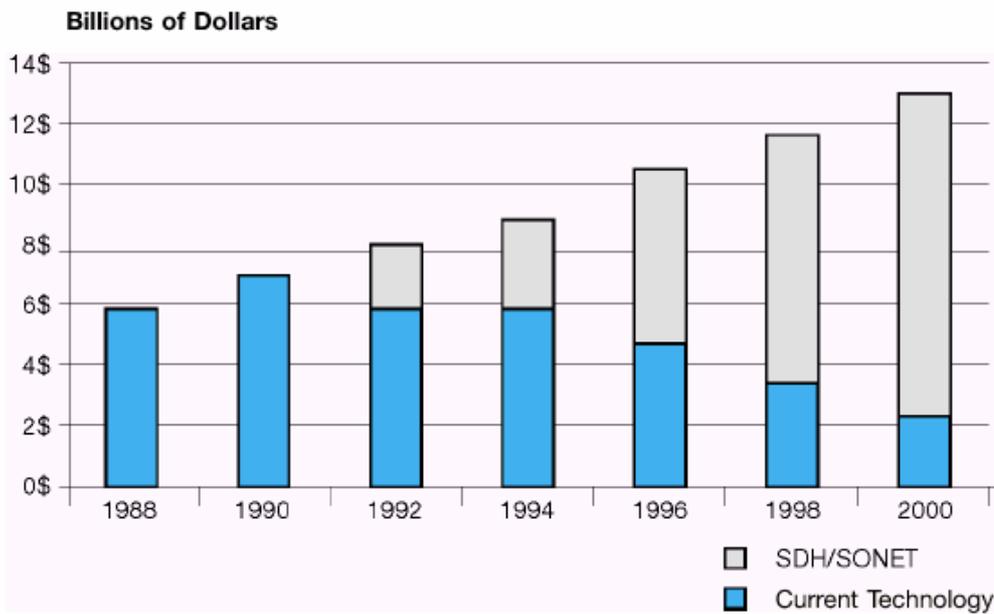
- Utilização da fibra óptica como meio de transmissão.
- Taxas de transmissão elevadas > 40 Gbit/s
- Flexibilidade
  - o Função de inserção/extracção simplificada. Como a tecnologia é síncrona é fácil identificar os canais de ordem inferior.
  - o Possibilidade de monitorizar o desempenho dos diferentes canais.
  - o Plataforma apropriada para diferentes serviços.
- Interligação
  - o Compatibilidade entre o equipamento de diferentes fabricantes e entre as hierarquias europeias e americanas.
  - o Normalização das interfaces ópticas (definindo os códigos a usar, os níveis de potência, as características dos lasers e das fibras, etc).

- Gestão centralizada fácil.
  - o A trama SDH dispõe de um número elevado de octetos para comunicação entre os elementos de rede e um centro de gestão centralizada, usando o sistema TMN (*Telecommunications Management Network*).



## *Vantagens*

  - o Elevada disponibilidade permitindo uma provisão rápida dos serviços requeridos pelos clientes. Tal deve-se ao facto da SDH fazer uso intensivo de software, em contrapartida com a PDH cuja funcionalidade reside no hardware.
- Elevada fiabilidade.
  - o As redes SDH usam mecanismos de protecção que permitem recuperações rápidas a falhas (da ordem dos 50 ms), quer das vias de comunicação, quer dos nós da rede.

## *Vantagens*

## Nomenclatura

**STM-1** (Synchronous Transport Module level 1) sinal SDH básico ou módulo de transporte de nível 1 (155.52 Mb/s)

- Hierarquias superiores têm taxas de transmissão que são múltiplas deste valor com um factor de $N=4^n$ (n=1,2,3,4) conduzindo aos STM-N

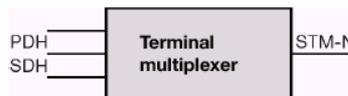
**STS-1** (Synchronous Transport Signal level 1) 1ª hierarquia no caso do SONET (é um sinal eléctrico e particularmente para débitos elevados só existe no interior do equipamento.

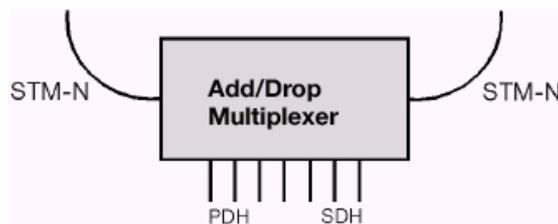
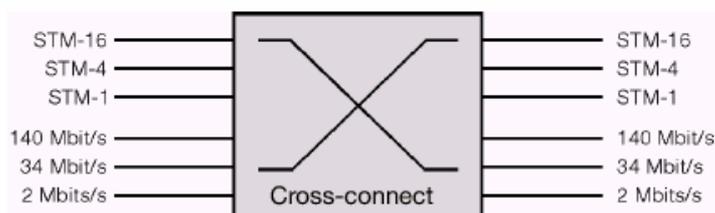
| Signal Designation | | | Line Rate (Mbps) |
|---|---|---|---|
| **SONET** | **SDH** | **Optical** | |
| STS-1 | STM-0 | OC-1 | 51.84 |
| STS-3 | STM-1 | OC-3 | 155.52 |
| STS-12 | STM-4 | OC-12 | 622.08 |
| STS-48 | STM-16 | OC-48 | 2,488.32 |
| STS-192 | STM-64 | OC-192 | 9,953.28 |
| | | OC-768(?) | 39,813.12 |

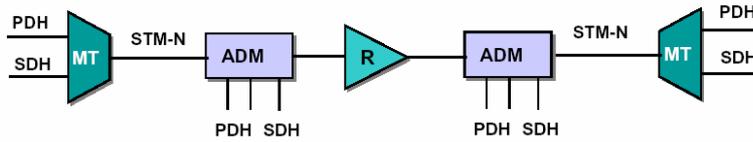
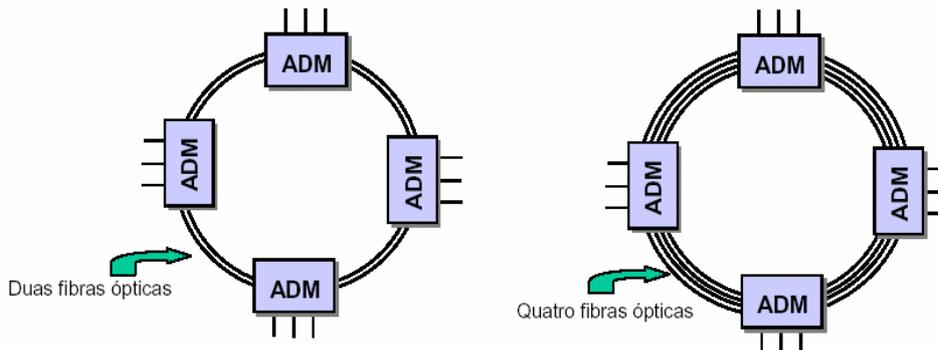
**OC-** Optical carrier

## *Elementos da rede*

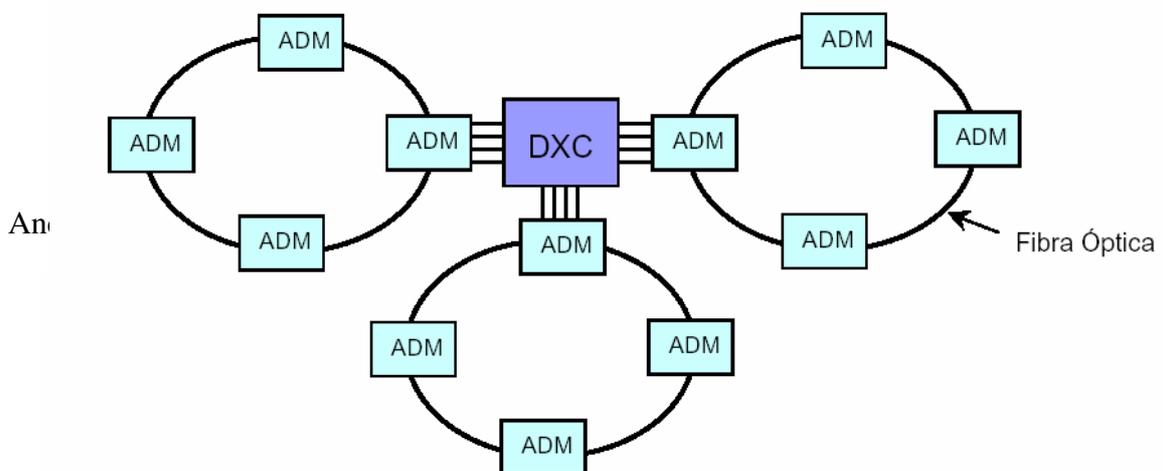
***Regeneradores*** - têm por função regenerar o sinal quer em termos de amplitude como de temporização. Os regeneradores comunicam entre si pelos canais de dados de 64 kbit/s (canais E1, F1) da secção de regeneração do cabeçalho de trama.

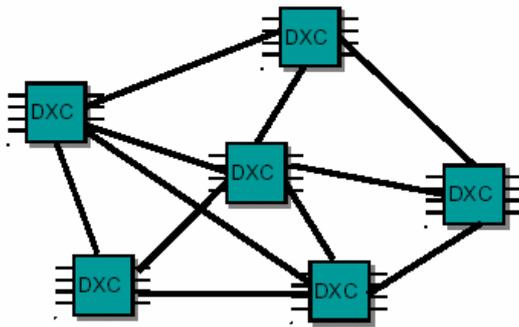
***Multiplexador terminal de linha (LTM- Line Terminal Multiplexer)***- são utilizados para combinar sinais plesiócronos e síncronos em tramas STM de débito binário superior ao dos tributários.

## ***Elementos da rede***

***Multiplexador de inserção/remoção (Add/drop multiplexer***):
Possibilita a inserção e remoção de sinais síncronos ou plesíocronos em tramas STM. Este elemento permite que um sinal de um nível superior não necessite de ser desmultiplexado para que seja efectuada um a extracção ou adição do tributário.

***Nó de interligação (Digital Cross Connets (DXC)):*** Proporciona funções de comutação apropriadas para estabelecer ligações semipermanentes entre canais E1, E3, E4, e STM-1 e permite restauro das redes. A sua reconfiguração é realizada por controlo do sistema de gestão.

## *Arquitectura da rede*

- Topologia em cadeia

- Topologia em anel com duas ou 4 fibras

## *Arquitectura da rede*

Os comutadores de cruzamento são usados para interligar anéis SDH, ou como nós de redes em malha.

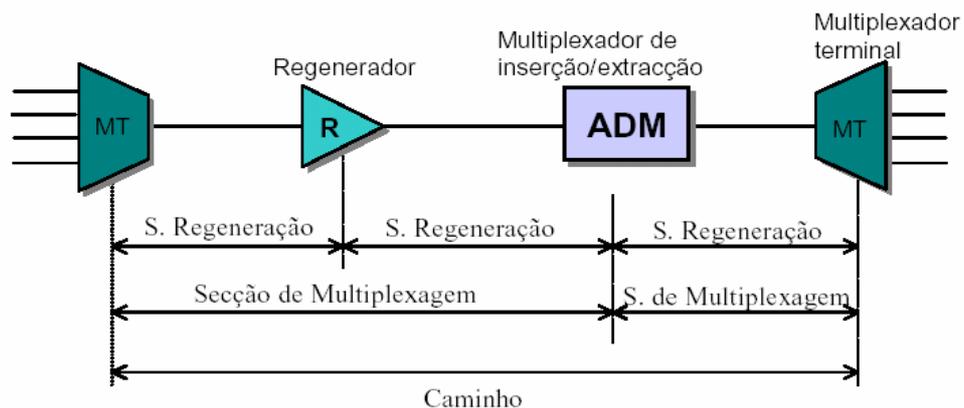
An

## *Arquitectura da rede*

Topologia emalhada (usada no núcleo central da rede)

A presença dos DXC permite implementar um sistema de restauro dinâmico.
Com esta técnica o sistema de gestão da rede reencaminha o tráfego por percursos alternativos àqueles onde ocorreram falhas.



## *Modelo de Camadas*

| Camadas de Transporte SDH | | | |
|---|---|---|---|
| | Caminho | | |
| | Transmissão | Secção | Secção de Multiplexagem |
| | | | Secção de regeneração |
| | | Física | |

**Caminho:**
Identificação da integridade da ligação, especificação do tipo de tráfego transportado no caminho e monitorização de erros
**Secção de multiplexagem**:
Sincronização, comutação de protecção, monitorização de erros, comunicação com o sistema de gestão
**Secção de regeneração:**
Enquadramento da trama, monitorização de erros, comunicação com o sistema de gestão.
**Física:**
Forma dos pulsos ópticos, nível de potência, comprimento de onda.

## *Modelo de Camadas*

Cada camada (com excepção da física) tem um conjunto de bytes que são usados como cabeçalho da camada. Estes bytes são adicionados sempre que a camada é introduzida e removidos sempre que esta é terminada.

## *Modelo de Camadas*

CL3 → CT1

Rede de Serviços (circuitos)

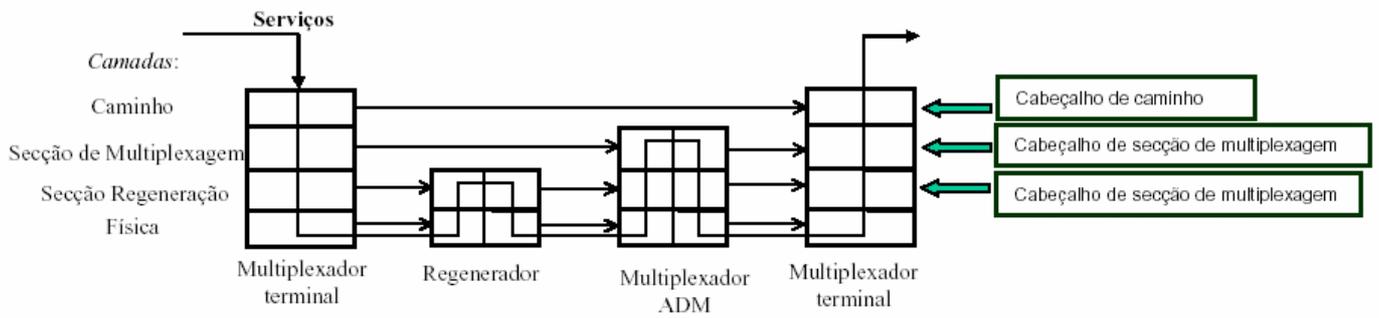
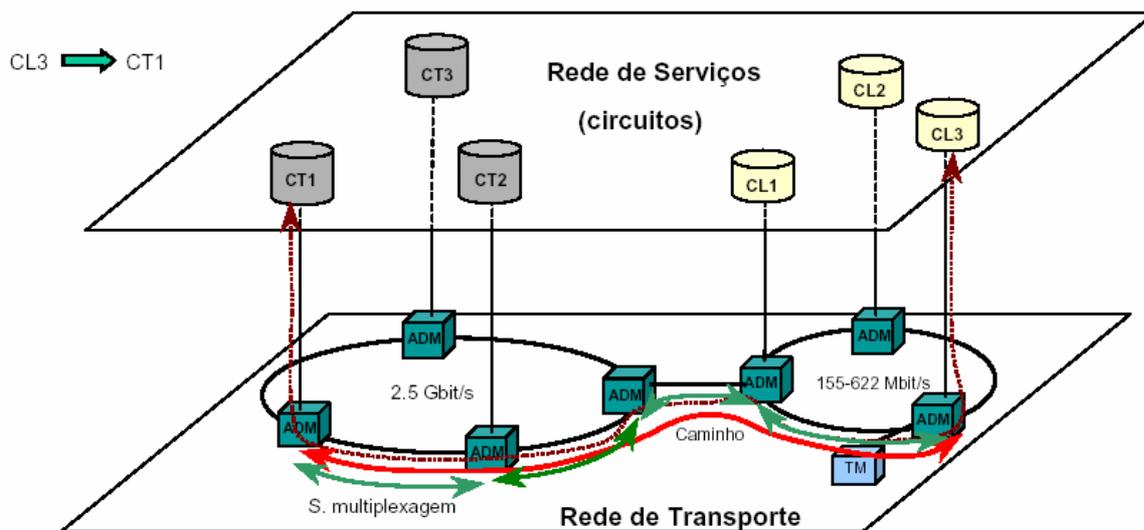
CT3 CT1 CT2 CL1 CL2 CL3

ADM ADM ADM ADM ADM ADM ADM TM

2.5 Gbit/s

155-622 Mbit/s

Caminho

S. multiplexagem

Rede de Transporte

DXC: *crossconnect*

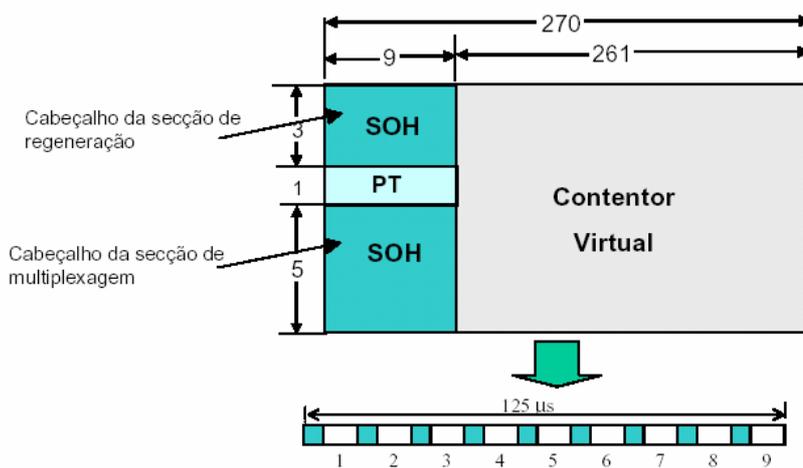
TM: multiplexer terminal

ADM: multiplexer de inserção/extracção

CT: central de trânsito

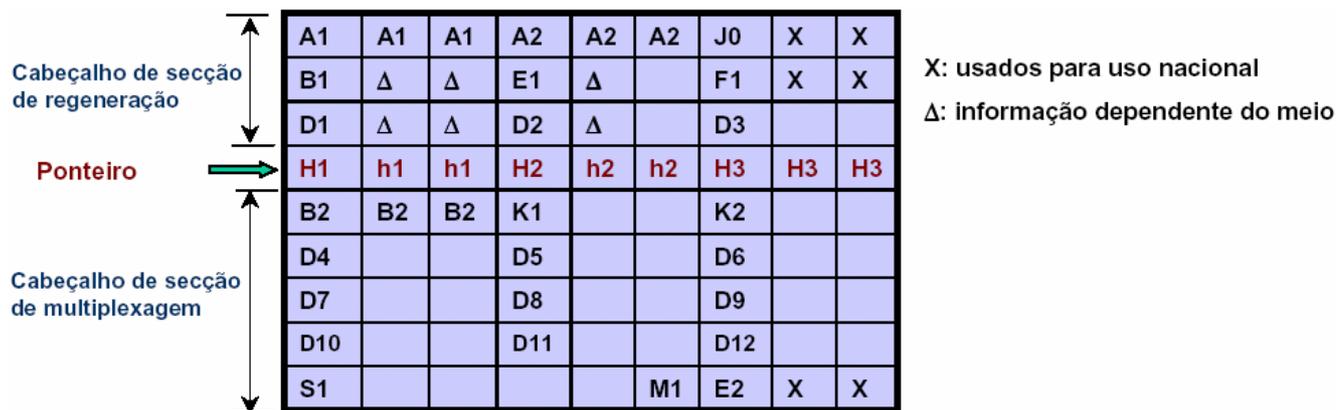
CL: central local

## *Trama básica STM-1 (Synchronous Transport Module)*

- É composta por 9x270=2 430 bytes
- Tem a duração de 125 μs, o que corresponde a 8000 tramas/s
- Taxa de transmissão de 155,52 Mbit/s
- Os bytes são transmitidos linha a linha, começando pela 1ª linha e 1ªcoluna.
- Contém 3 blocos:
    - Cabeçalho de secção (SOH, section overhead)
    - Ponteiro (PT): permite localizar a informação transportada no VC (Virtual Container)
    - Contendor virtual: capacidade transportada + cabeçalho de caminho.

## *Formação da trama STM-N*

- As trama STM de ordem superior são obtidas através de multiplexagem byte a byte de vários STM-1.
- O débito binário do sinal STM-N é de Nx155.52 Mbit/s.

## *Cabeçalho de secção de trama STM-1*

| A1 | A1 | A1 | A2 | A2 | A2 | J0 | X | X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B1 | Δ | Δ | E1 | Δ | | F1 | X | X |
| D1 | Δ | Δ | D2 | Δ | | D3 | | |
| H1 | h1 | h1 | H2 | h2 | h2 | H3 | H3 | H3 |
| B2 | B2 | B2 | K1 | | | K2 | | |
| D4 | | | D5 | | | D6 | | |
| D7 | | | D8 | | | D9 | | |
| D10 | | | D11 | | | D12 | | |
| S1 | | | | | M1 | E2 | X | X |



**Cabeçalho de secção de regeneração**

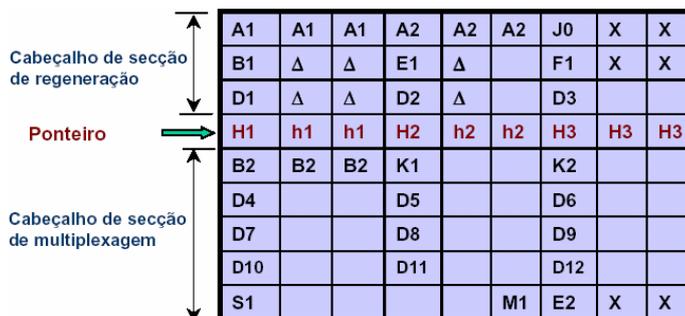
A1, A2 : Padrão de enquadramento de trama (A1=11110110, A2=00101000).
Jo: Traço de secção de regeneração. Verifica a integridade da ligação a nível de secção.
B1: Monitorização de erros a nível da secção de regeneração.
D1- D3: Canal de comunicação de dados. Transporta informação de gestão de rede.
E1: Canal de comunicação de voz (64 kb/s) entre regeneradores.
F1: Canal de utilizador. Diferentes aplicações. Ex: transmissão de dados.



## *Cabeçalho de secção de trama STM-1*

Cabeçalho de secção de multiplexagem
B2: Monitorização de erros a nível da secção de multiplexagem.
K1- K2: Comutação de protecção automática.
D4- D12: Canal de comunicação de dados a 576 kbit/s. Transporta informação de gestão de rede entre os elementos que terminam a secção de multiplexagem e entre estes e o sistema de gestão de rede.

Cabeçalho de secção de regeneração
Ponteiro
Cabeçalho de secção de multiplexagem

| A1 | A1 | A1 | A2 | A2 | A2 | J0 | X | X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B1 | Δ | Δ | E1 | Δ | | F1 | X | X |
| D1 | Δ | Δ | D2 | Δ | | D3 | | |
| H1 | h1 | h1 | H2 | h2 | h2 | H3 | H3 | H3 |
| B2 | B2 | B2 | K1 | | | K2 | | |
| D4 | | | D5 | | | D6 | | |
| D7 | | | D8 | | | D9 | | |
| D10 | | | D11 | | | D12 | | |
| S1 | | | | | M1 | E2 | X | X |

S1: Indicador da qualidade do relógio. Transporta mensagens referentes ao tipo de relógio usado no processo de sincronização.
M1: É usado para transportar uma indicação de erro remoto ou REI (remote error indication) a nível de secção de multiplexagem. O alarme REI é enviado para o ponto onde a secção de multiplexagem é originada e indica o número de blocos detectados errados a partir da informação dada pelo B2.
E2: Canal de comunicação de voz (64 kb/s) para comunicações vocais entre as extremidades da camada de multiplexagem.

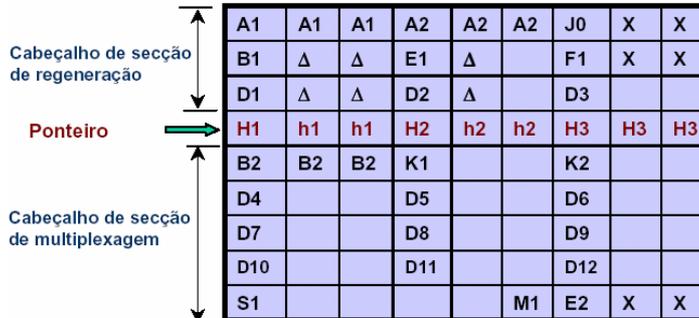
## *Cabeçalho de secção de trama STM-1*

**Ponteiro**

H1, H2: Octetos do ponteiro. Indicam o ínicio do contentor virtual na trama

H3: Octetos de acção do ponteiro. Usados para justificação negativa.

h1, h2: Octetos com um valor invariável.

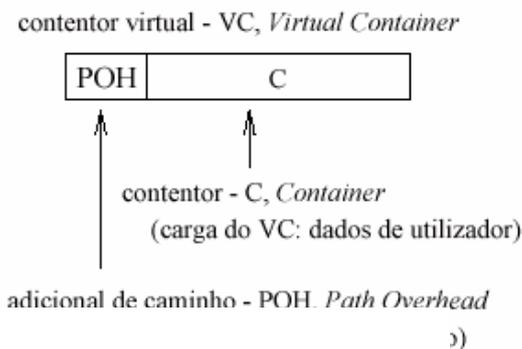
| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | A1 | A1 | A2 | A2 | A2 | J0 | X | X |
| B1 | Δ | Δ | E1 | Δ | | F1 | X | X |
| D1 | Δ | Δ | D2 | Δ | | D3 | | |
| H1 | h1 | h1 | H2 | h2 | h2 | H3 | H3 | H3 |
| B2 | B2 | B2 | K1 | | | K2 | | |
| D4 | | | D5 | | | D6 | | |
| D7 | | | D8 | | | D9 | | |
| D10 | | | D11 | | | D12 | | |
| S1 | | | | | M1 | E2 | X | X |



## *Princípios de Multiplexagem*

***Contentores (C, Containers)***

Unidade básica usada para transportar informação dos tributários (ex PDH). Inclui ainda octetos de justificação fixa (sem informação) para adaptar os débitos dos tributários aos débitos dos contentores e bits usados para justificação dos tributários PDH.

***Contentores virtuais (VC, Virtual Containers)***

O contentor virtual consiste num contentor mais o cabeçalho de caminho. O VC é uma entidade que não sofre modificações desde o ponto onde o caminho é originado até ao ponto onde é terminado. Os VCs transmitidos directamente no STM-1 designam-se contentores virtuais de ordem superior ou alta ordem. Os restantes de ordem inferior ou baixa ordem.

| | Contentor | Capacidade (kbit/s) |
|---|---|---|
| Baixa Ordem | C-11 | 1 600 |
| | C-12 | 2 176 |
| | C-2 | 6 784 |
| | C-3 | 48 384 |
| Alta Ordem | C-3 | 48 384 |
| | C-4 | 149 760 |

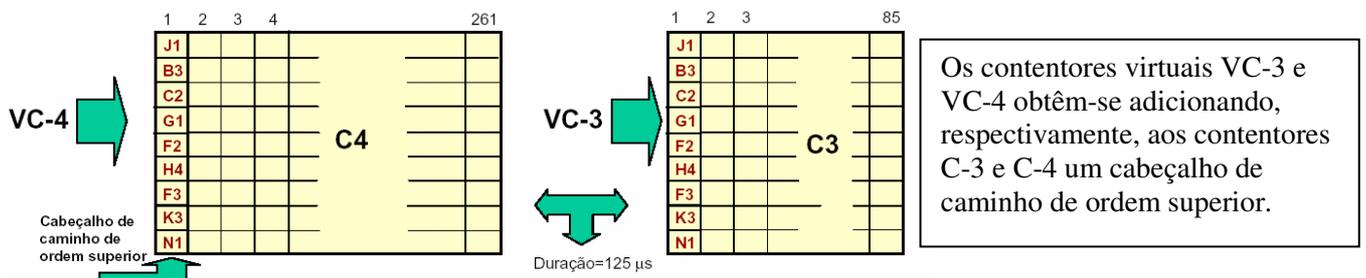
## *Formação de tramas STM-1*

***Unidade Administrativa (AU)***

Consiste num contentor virtual de ordem superior mais um ponteiro de unidade administrativa. O ponteiro específica o início do contentor virtual.

***Grupo de unidade administrativa (AUG)***

Resulta da combinação por interposição de byte de várias unidades administrativas. Adicionando o cabeçalho de secção à AUG obtém-se a trama STM-1.

Os contentores virtuais VC-3 e VC-4 obtêm-se adicionando, respectivamente, aos contentores C-3 e C-4 um cabeçalho de caminho de ordem superior.

O cabeçalho de caminho de ordem superior é constituído por 9 bytes iniciando-se com byte J1, que é também o primeiro byte do VC.

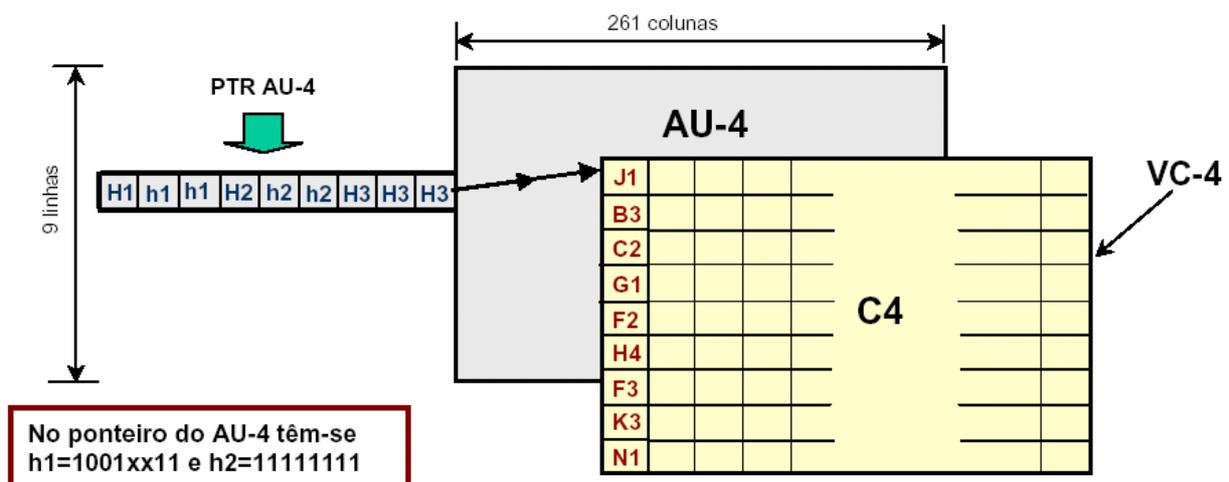
O contentor VC-4 é constituído por 261×9=2349 octetos, o que dá um débito de 150.336 Mbit/s. Ao VC-3 corresponde um débito de 49.96 Mb/s.

## *Funções dos bytes do cabeçalho de caminho*

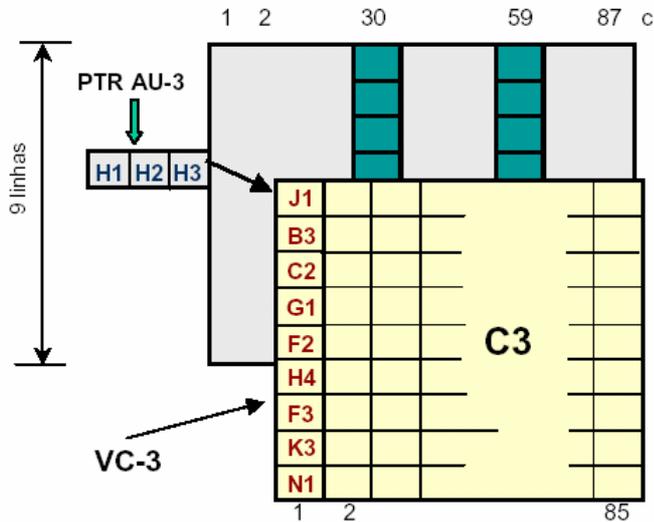
**J1:** Permite verificar a integridade do caminho. O terminal onde o caminho é gerado envia repetidamente uma sequência padrão através de J1, a qual é confirmada pelo terminal receptor.
**B3:** É usada para monitorizar erros, transmitindo o BIP (Bit interleaved parity) do caminho.
**C2:** É a etiqueta do sinal, indicando a composição dos contentores virtuais VC3/VC4: Ex: 0000 0000: não transporta tráfego, 0000 0010: usa uma estrutura TUG, 0001 0010: transporta um E4 num C-4, 0001 0011: ATM.
**G1:** É um canal usado pelo terminal receptor para enviar para o terminal emissor o informação sobre desempenho do caminho, nomeadamente sobre os erros detectados por B3.
**F2:** Canal de manutenção usado pelos operadores da rede.
**H4:** Indicador de super-trama. Usada na formação do VC-2, VC-12 e VC-11.
**F3:** Canal de manutenção
**K3:** Canal usado para funções de protecção a nível do caminho.
**N1:** Monitorização das ligações em cascata.



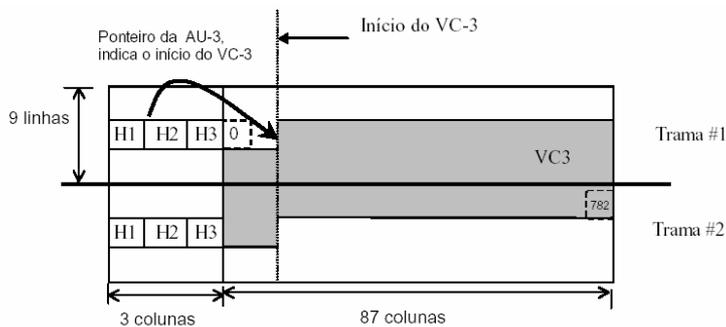
## *Unidade Administrativa AU-4*

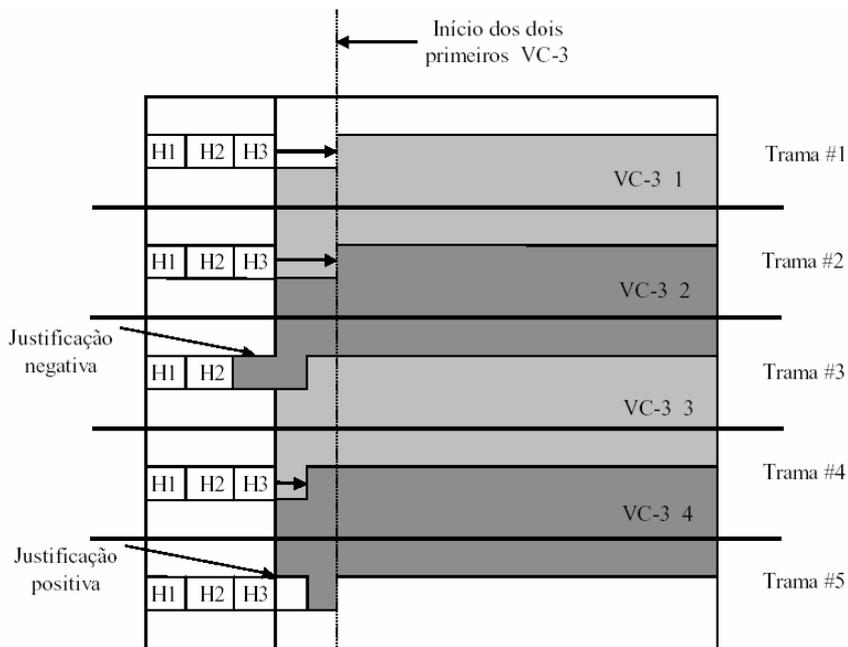
Uma AU-4 é uma estrutura síncrona constituída por 9x261+9 bytes, que inclui um VC-4 mais um ponteiro de unidade administativa AU-4 (PTR AU-4).

O VC-4 pode flutuar dentro do AU-4. O ponteiro do AU-4 contém a posição (endereço) do primeiro byte (J1) do cabeçalho de caminho do VC-4.

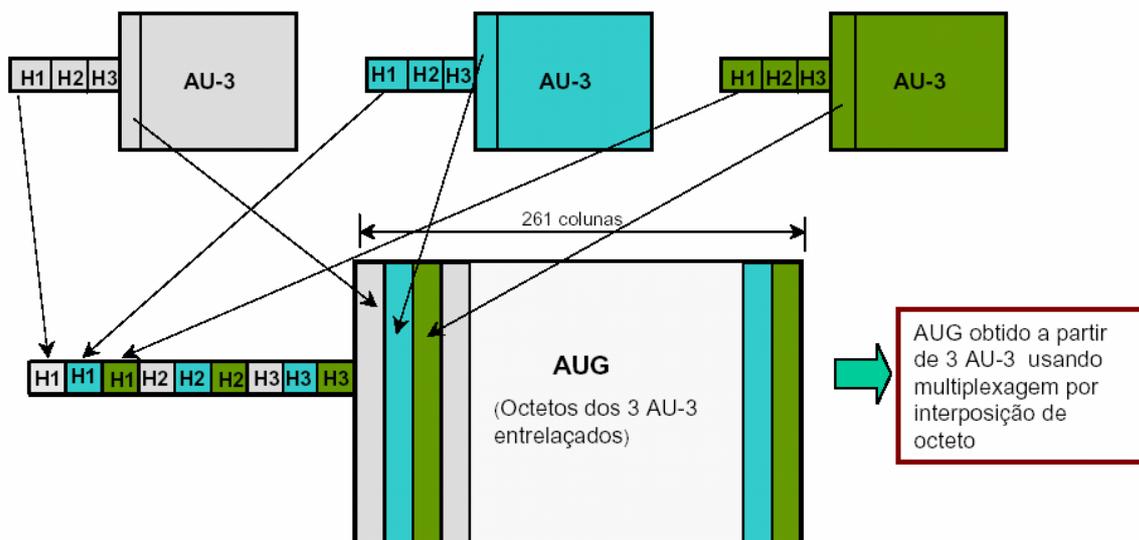
## *Unidade Administrativa AU-3*

A AU-3 é uma estrutura síncrona composta por 9×87+3 bytes, que inclui um VC-3 mais um ponteiro da unidade administrativa AU-3 (PTR-AU-3). Como a capacidade de transporte do AU-3 (87 colunas) é superior à requerida pelo VC-3 (85 colunas), são inseridas duas colunas sem informação (justificação fixa) para adaptação de capacidade (colunas 30 e 59).

A posição do contentor virtual pode flutuar dentro do AU-3. O ponteiro PTR AU-3 contém o endereço do J1.



## *Papel dos ponteiros das unidades administrativas*

- O ponteiro é constituído por H1, H2 e H3
- A posição do byte que se segue a H3 é numerada por 0 e vai até 782 (783 posições (87 colunas x 9 linhas)
- O valor do ponteiro é transmitido em H1 e H2
- H3 é usado para justificação

## *Papel dos ponteiros das unidades administrativas*

## *Grupo de Unidade Administrativa AUG*

O AUG é uma estrutura síncrona constituída por 9×261+ 9 bytes, que por adição do cabeçalho de secção dá origem à trama STM-1. Um AUG é composto de 1 AU-4 ou de 3 AU-3 usando multiplexagem por interposição de byte.

## *Transporte das hierarquias E3 e E4 em tramas STM-1*

***Mapeamento***

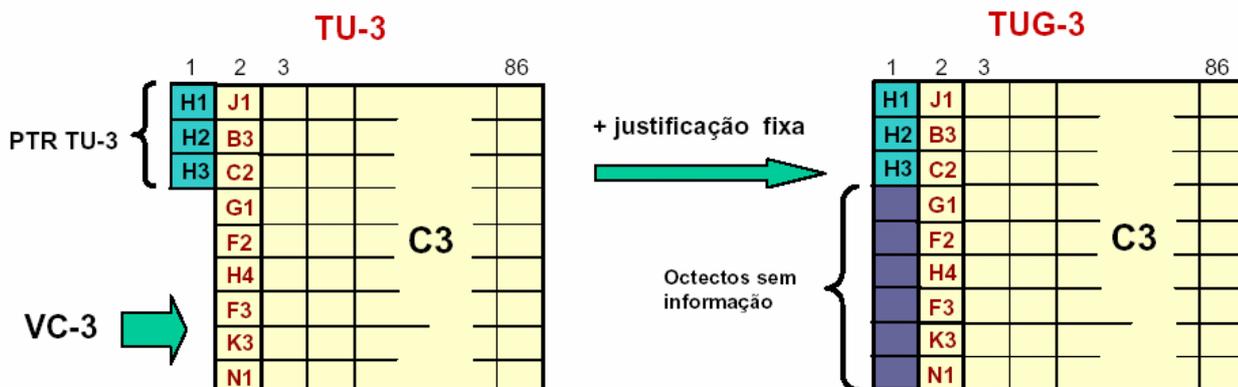
- Insere tributários nos contentores virtuais preparando a multiplexagem síncrona
- Introduz bits de justificação para compensar diferenças de débitos
- Acrescenta POH (Path Overhead)

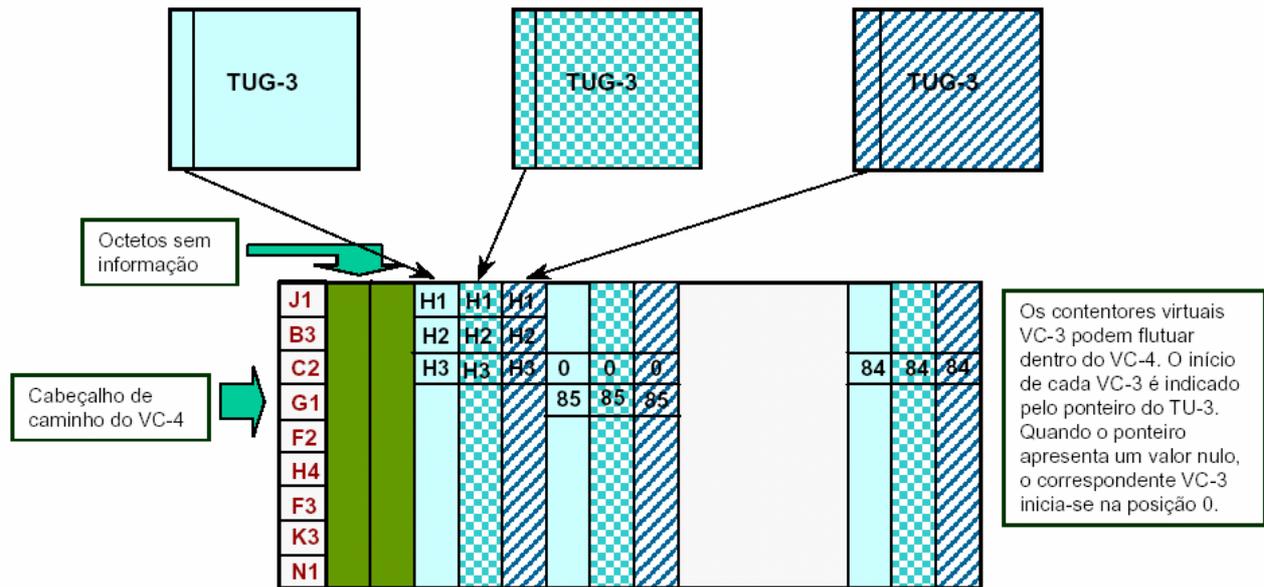
## *Mapeamento em TU e TUG*

***Unidade tributária (TU)***
A unidade tributária consiste num contentor virtual de ordem inferior mais um ponteiro da unidade tributária. Como o VC de ordem inferior pode flutuar dentro do VC de ordem superior, o início do primeiro dentro do segundo é indicado pelo ponteiro da unidade tributária.
***Grupo de unidade tributária (TUG)***
Resulta da combinação de várias unidades tributárias por interposição de byte. Em alguns casos é necessário proceder a justificação fixa, para adaptar débitos binários.



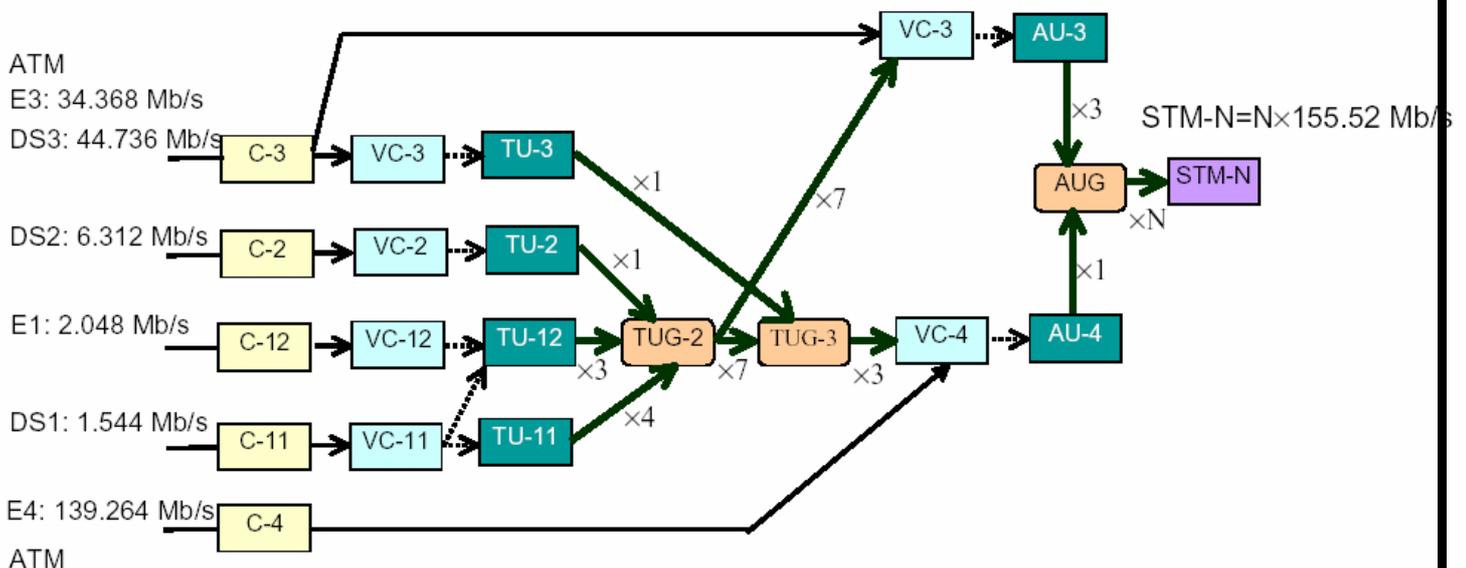
## *Mapeamento em TU-3 e TUG-3*

Um VC-3 de ordem inferior é transportado numa unidade tributária de nível 3 (TU-3). Um TU-3 é uma estrutura síncrona constituída por 9×85+ 3 octetos, que inclui um VC-3 mais um ponteiro de unidade tributária TU-3 (PTR TU-3). Adicionando ao TU-3 seis bytes de justificação fixa obtem-se o TUG-3.

## *Mapeamento em TU-3 e TUG-3*

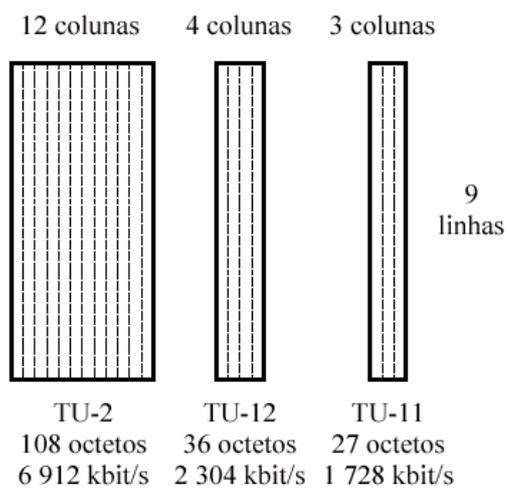
Um VC-4 pode formar-se a partir de multiplexagem por interposição de octeto de 3 TUG-3. Como 3x86=258 colunas é necessário adicionar 2 colunas sem informação para obter as 260 colunas correspondentes ao C-4.

## *Estrutura da Multiplexagem do SDH*

ATM
E3: 34.368 Mb/s
DS3: 44.736 Mb/s
DS2: 6.312 Mb/s
E1: 2.048 Mb/s
DS1: 1.544 Mb/s
E4: 139.264 Mb/s
ATM

C-3 → VC-3 → TU-3
C-2 → VC-2 → TU-2
C-12 → VC-12 → TU-12
C-11 → VC-11 → TU-11
C-4
TUG-2 ×3, ×7
TUG-3 ×3
VC-3 → AU-3 ×3
VC-4 → AU-4 ×1
×1 ×1 ×7 ×4
AUG → STM-N ×N

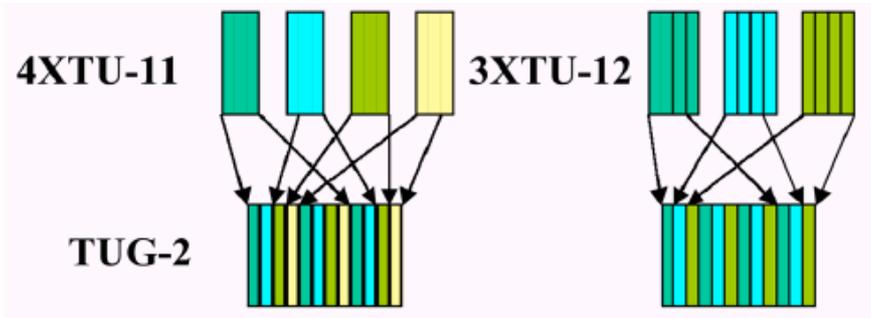
STM-N=N×155.52 Mb/s

## *Mapeamento em TU-11, TU-12 e TU-2*

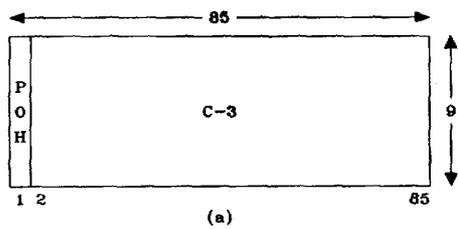


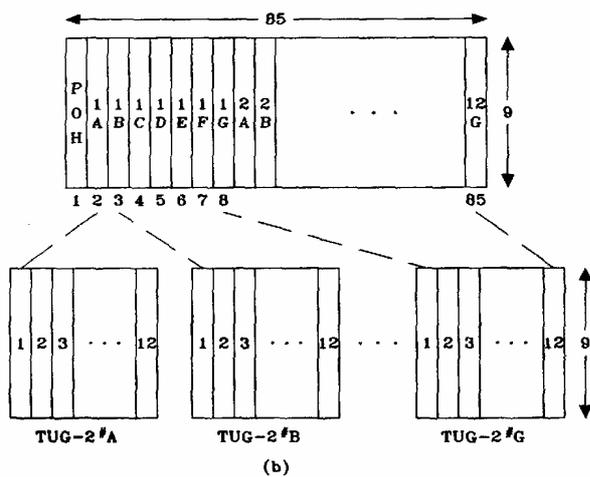
## *Mapeamento em TUG-2*

-É possível criar uma unidade tributária de grupo (**TUG- Tributary Unit Group)** por multiplexagem por entrelaçamento de colunas

TUG-2 pode ser criado por:

- 4 TU-11 ou
- 3 TU-12 ou
- 1 TU-2

-na criação de um TUG-2 os pontos iniciais de cada multitrama têm de ser idênticos

## *Mapeamento em VC-3*

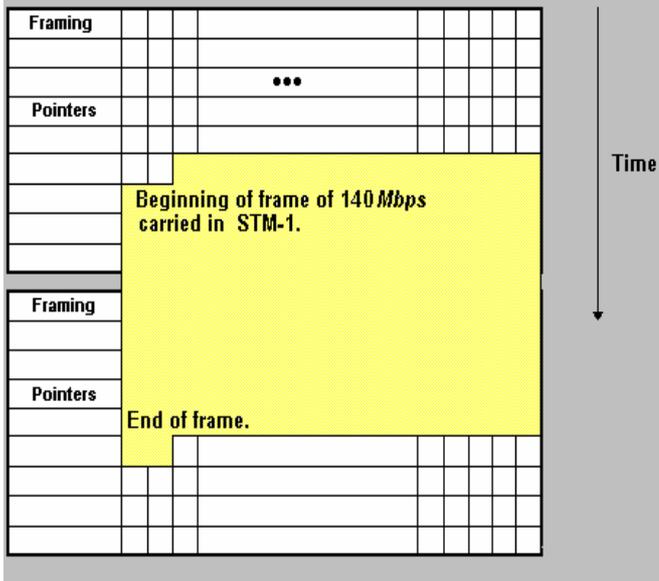
## *Mapeamento em VC-3*

**-VC-3 composto por 85 9B colunas, 1º coluna é o POH, cabeçalho de caminho.**

**-A payload pode ser ou C-3 ou 7 TUG-2 (alinhados em fase).**

## *Concatenação contígua AU-4*

- Este mecanismo é fornecido para permitir transportar sinais com uma capacidade superior ao contentor C-4.
- A vantagem deste método é que a carga digital correspondente a várias AU-4 consecutivas é amarrada através da atribuição de um valor fixo a todos os ponteiros das AU-4 do conjunto, com excepção do ponteiro da primeira.
- Permite sincronizar todas as AU-4 em conjunto.
- O ponteiro do cabeçalho de caminho só é transportado na primeira AU-4, nos restantes AU-4 são preenchidos com bits sem informação.
- AU-4-xc conjunto de x AU-4
- AU-4-4c que é transportada em tramas STM-4 é usada para o transporte de tráfego ATM.



## *Tramas Fluctuantes*

## *Tramas Fluctuantes*

-Num determinado nó da rede o início da trama recebida pelo nó pode não coincidir com o início da trama transmitida pelo nó.

-Tramas flutuantes têm por objectivo evitar atrasos de sincronização.

-O AU da trama recebida é transmitido num ponto qualquer da trama transmitida.

-Os apontadores da trama STM indicam o início do VC recebido

-O conteúdo do VC estende-se por duas tramas



## *Material extra*